

## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialwissenschaft

– 13 –

### Biomechanik 2. Biomechanische Grundlagen der Implantologie

erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI  
3. Dezember 2020.

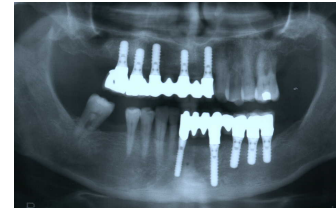
FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

1

## Biomechanische Prinzipien des Implantierens

- optimale Kraftverteilung
- minimale Spannungen
- minderung der horizontalen Kräfte
- minderung der Drehmomente
- Kraftdämpfung

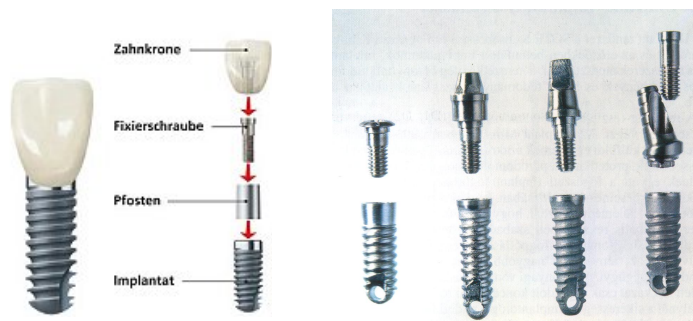


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

2

## Schraubenimplantate

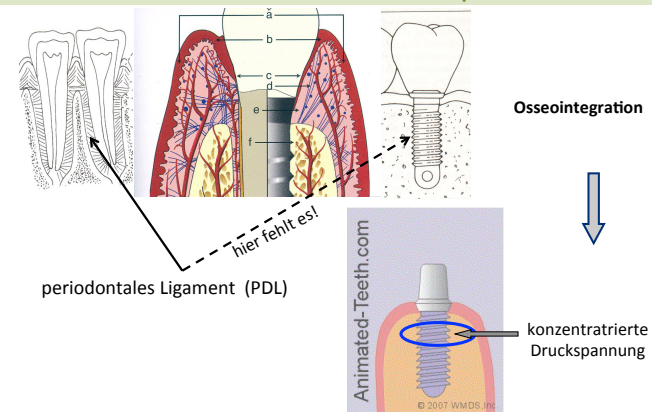


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

3

## Kraftübertragung von Implantaten – Natürlicher Zahn vs. Implantat

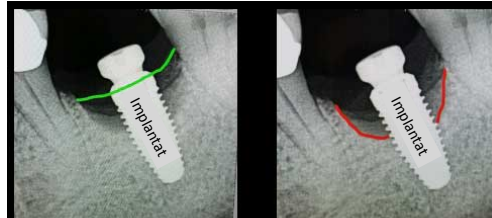


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

4

## Ein Problem: Knochenabbau um Implantat



grün: wo Knochen sein sollte

rot: Knochenabbau

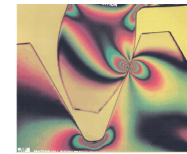
FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

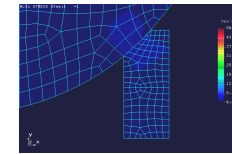
5

## Untersuchungsmethoden der Spannungsverteilung

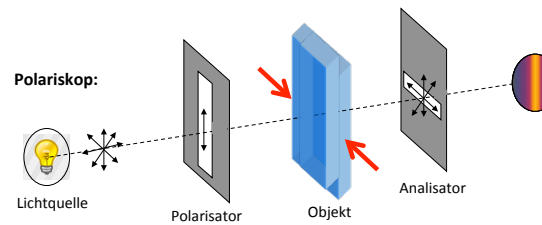
• Spannungsoptik



• Finite-Elemente-Methode



Polariskop:



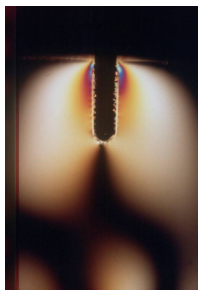
FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

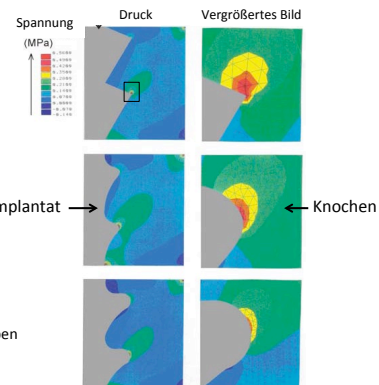
6

## Spannungen bei Implantaten

Spannungsoptik:



Finite-Elemente-Methode:



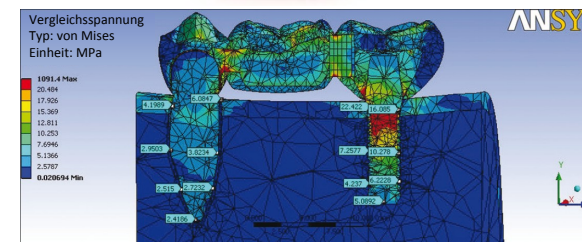
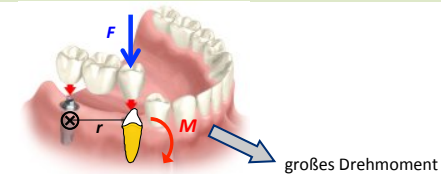
Die Forschung und die Entwicklung streben die kleinere Spannungen und die gleichmässige Spannungsverteilung an.

FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

7

## Ein weiteres Problem: das Drehmoment

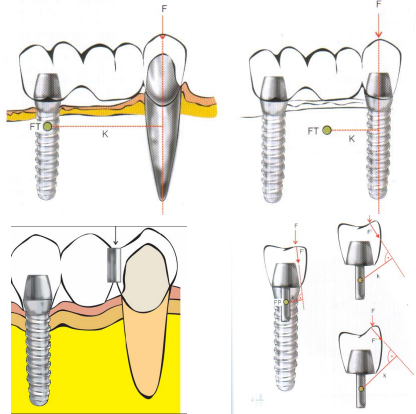


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

8

## Minderung der Drehmomente



FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

9

## Untersuchung der Stabilität von Implantaten

- radiologische Untersuchung
- manuelle Untersuchung
- instrumentelle Untersuchungsmethoden:
  - Resonanzfrequenzanalyse
  - Periotest

FAFA\_DE

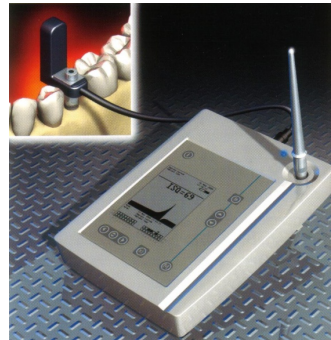
13 | Biomechanik 2.

10

## Resonanzfrequenzanalyse (RFA)

- mithilfe eines Transducers (Wandlers) wird eine periodische Erregungskraft auf das Implantat übertragen  $\Rightarrow$  erzwungene Schwingung
- die Resonanzfrequenz wird bestimmt. Die Resonanzfrequenz hängt von der Stabilität des Implantats ab
- eine relative Zahl (ISQ = implant stability quotient) wird gegeben.

Osstell ISQ

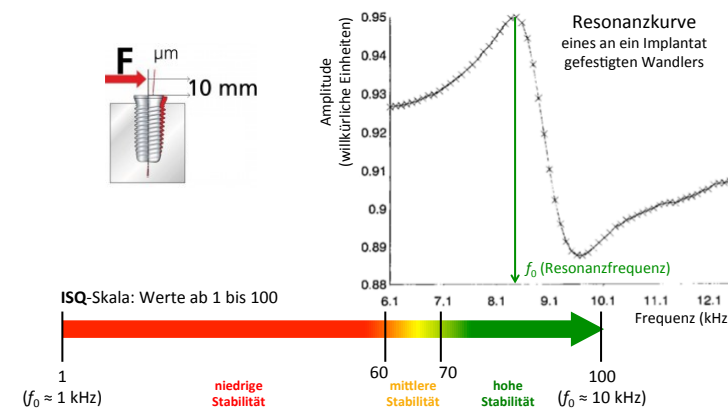


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

11

## Resonanzfrequenzanalyse (RFA)



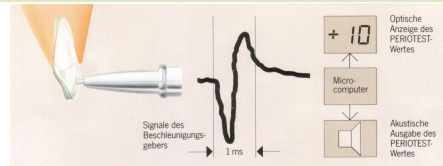
FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

12

## Periotest

– eine kleine Metallstange wird aus dem Messkopf auf das Implantat geschossen  
– der zeitliche Verlauf des Rückstoßes wird untersucht, und eine relative Zahl wird für die Stabilität gegeben



FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

13

## Implantatmaterialien

### Metalle



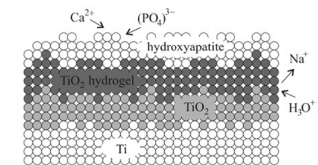
- ☐ Titan (Ti)
- ☐ Titanlegierungen (z.B. Ti-6Al-4V)
- ☐ Kobaltlegierungen (Co-Cr-Mo)

### Keramiken

- ☐ Aluminiumoxid
- ☐ Zirkon (Zirkoniumdioxid)
- ☐ HAP
- ☐ Biogläser



### Metalle mit Keramikbeschichtung



FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

14

## Titan



### günstige Eigenschaften von Titan:

- kleine Dichte (4,5 g/cm³)
- hohe Festigkeit
- kleine Steifigkeit (Young-Modul)
- kleine elektrische und Wärmeleitfähigkeit
- biokompatibel
- nicht ferromagnetisch → geeignet für MRT-Untersuchungen

Material	$\sigma_{\max}$ (MPa)
Knochen	100
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700
Stahl	500
Titan	430
Aluminiumoxid	250
PMMA	≈ 50

Stoff	$E$ (GPa)
Knochen	10-15
Aluminiumoxid	350-410
Stahl	220
Titan	110
PMMA	2,4-3,8

Stoff	$\alpha$ (S/m)
Silber	$6,8 \cdot 10^7$
Gold	$4,3 \cdot 10^7$
Platin	$0,94 \cdot 10^7$
Titan	$0,24 \cdot 10^7$

Stoff	$\lambda$ (W/(m·K))
Silber	420
Titan	22
Glas	1

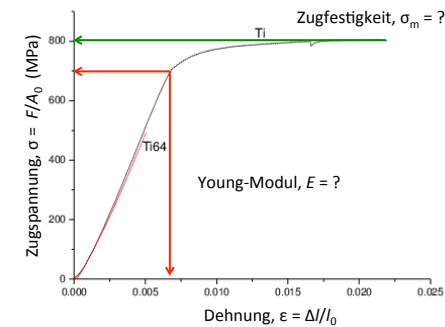


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

15

## Titan: Spannungs-Dehnungs-Diagramm

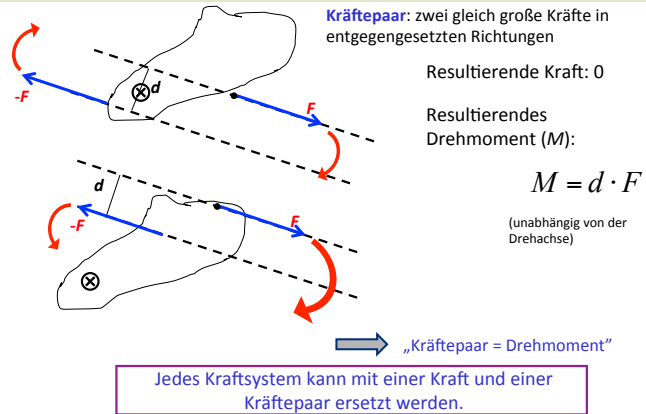


FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

16

## Kräftepaar, Ersetzung eines Kraftsystems



FAFA\_DE

13 | Biomechanik 2.

17

## Zeitrafferfilme



[www.youtube.com/watch?v=S8LLct\\_WLSk](https://www.youtube.com/watch?v=S8LLct_WLSk) ab 0:30  
[www.youtube.com/watch?v=LWW8qrgjx54](https://www.youtube.com/watch?v=LWW8qrgjx54) ab 1:00  
[www.youtube.com/watch?v=sEwqJ1l8ZFQ](https://www.youtube.com/watch?v=sEwqJ1l8ZFQ) ab 1:36

FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

19

## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialwissenschaft

# – 13/b –

## Biomechanik 3. Physikalische Grundlagen der Kieferorthopedie

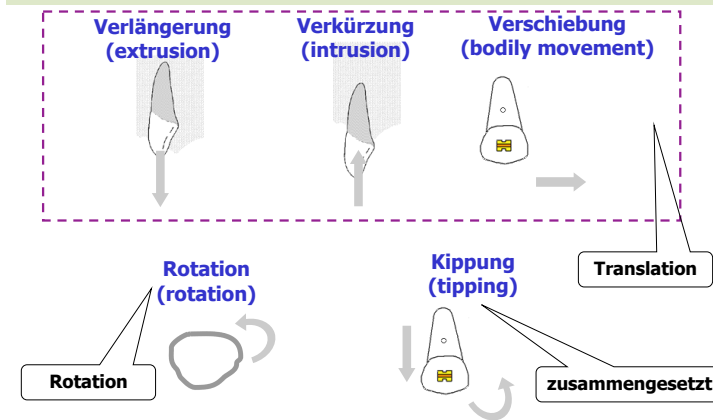
erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI  
3. Dezember 2020.

FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

18

## Bewegungsformen

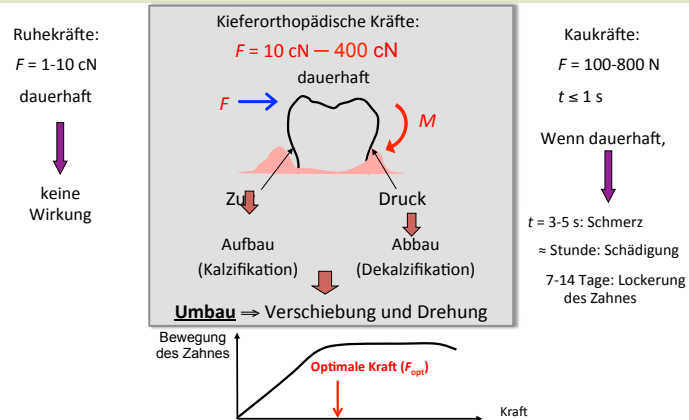


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

20

## Mechanismus der Zahnbewegung

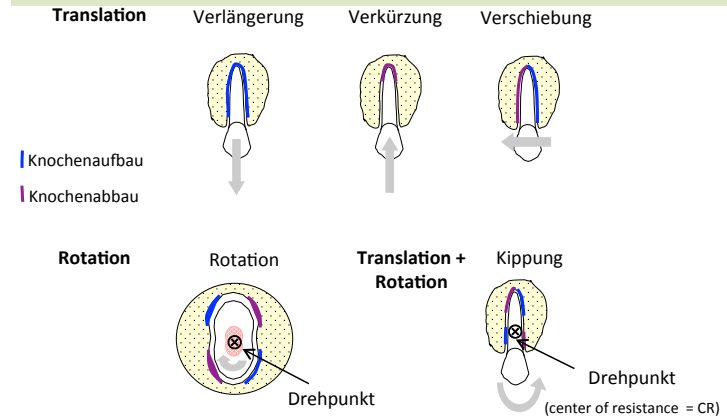


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

21

## Mechanismus der Bewegungen

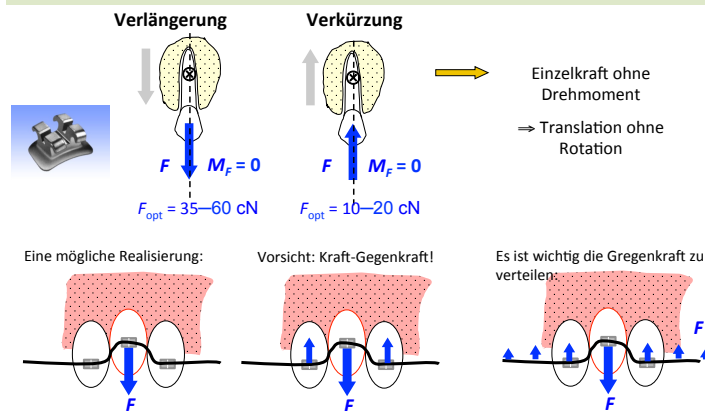


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

22

## Kräfte, Drehmomente zur Bewegung

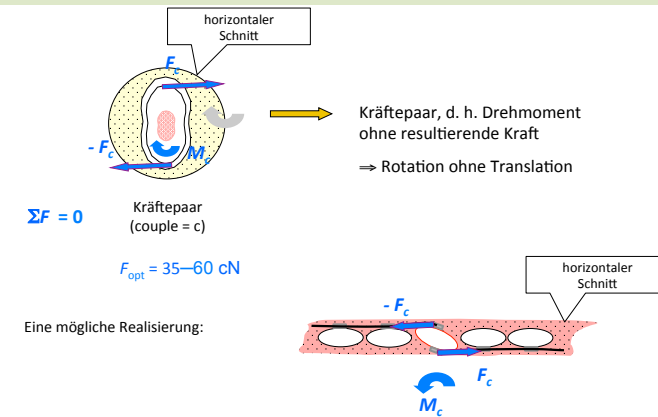


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

23

## Rotation

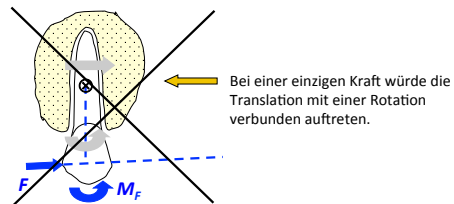


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

24

## Verschiebung

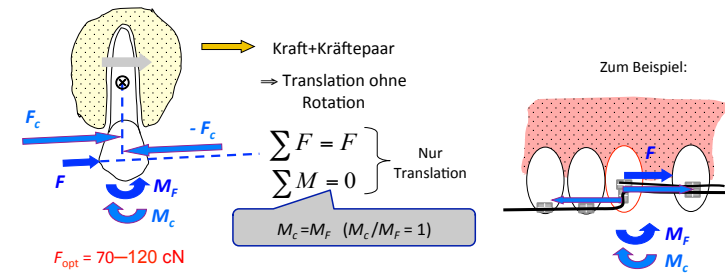


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

25

## Verschiebung

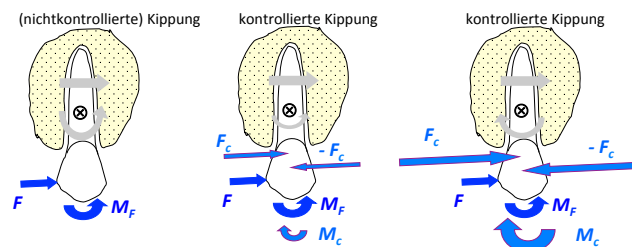


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

26

## Kippung



FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

27

## Kippung

Kraft	Kräftepaar	$\sum F$	$\sum M$	
✓	-	$F$	$M_F$	→ (nichtkontrollierte) Kippung:
				Translation + Rotation
✓	✓	$F$	$M_F - M_c$	→ kontrollierte Kippung:
				Translation + Rotation

$F_{\text{opt}} = 35-120 \text{ cN}$

- $0 < M_F - M_c$  ( $M_c/M_F < 1$ )
- $M_F - M_c < 0$  ( $1 < M_c/M_F$ )

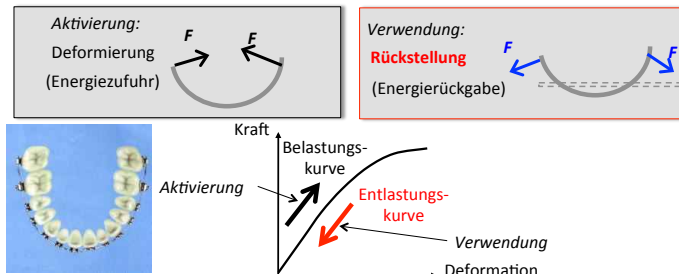
FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

28

## Kieferorthopädisches Gerät

Das kieferorthopädisches Gerät ist ein elastischer Körper, der Kräfte und Drehmomente an die Zähne abgibt, nachdem er aktiviert (deformiert) wurde. Die während der Deformation eingespeiste Energie wird zurückgeliefert („**mechanische Batterie**“).



Wichtige Fragen:

- Wie groß ist die abgegebene Kraft – wovon hängt sie ab?
- Wie lang wirkt die Kraft?

FAFA\_DE

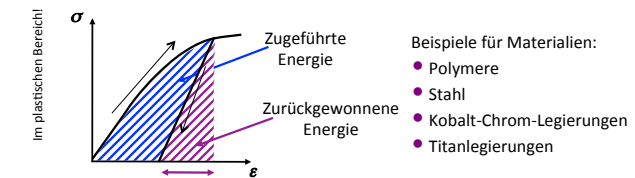
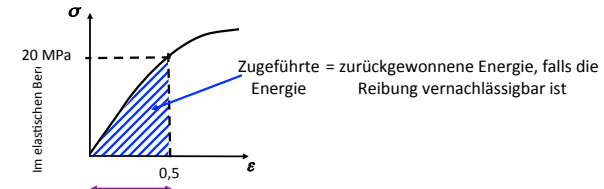
13/b | Biomechanik 3.

29

## Relevante mechanische Eigenschaften

- Materialeigenschaften:

Steifigkeit, elastische Rückstellung, elastische Verformungsarbeit



FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

30

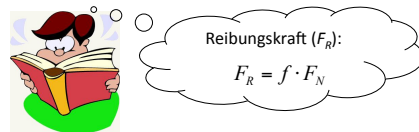
## Relevante mechanische Eigenschaften

- Geometrie: Form, Größe (z.B. Dicke, Länge, ...)

- Dehnung/Stauchung  $F = E \frac{A}{l} \Delta l$   $W = \frac{1}{2} E \cdot \frac{A}{l} \Delta l^2$
- Abbiegung  $F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} s$   $W = \frac{1}{2} 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s^2$
- Torsion  $M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$  **Steifigkeit des Körpers**  
(Dehnsteifigkeit, Biegesteifigkeit, Torsionssteifigkeit)

**Probleme:**

- Reibung

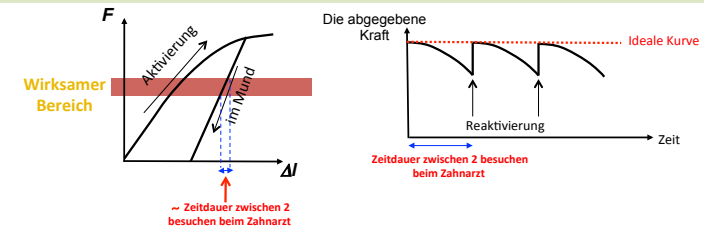


FAFA\_DE

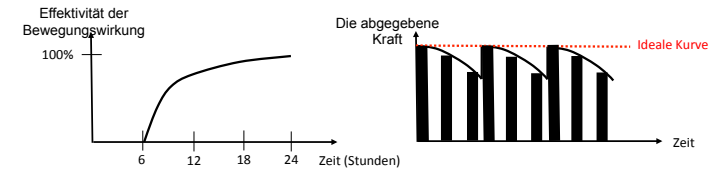
13/b | Biomechanik 3.

31

## Die zeitliche Änderung der abgegebenen Kraft



Bei nichtstationären Geräten:

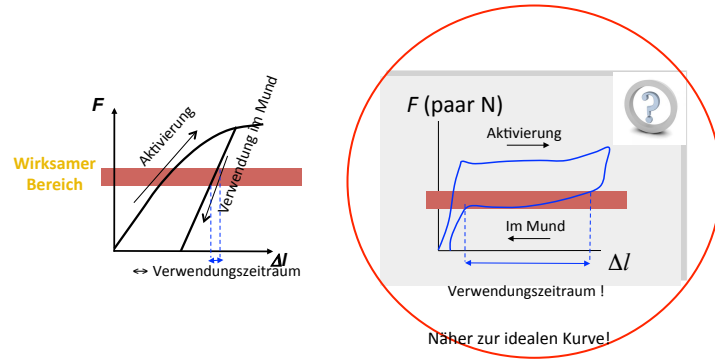


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

32

## Die zeitliche Änderung der abgegebenen Kraft



FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

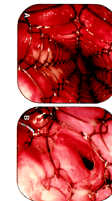
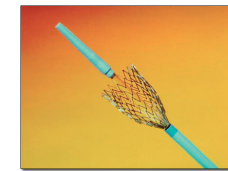
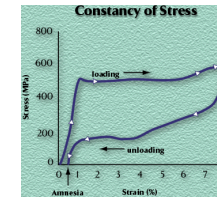
33

## Superelastische Stoffe

Ni+Ti    Cu+Al+Zn    Cu+Al+Ni

**Nitinol** (Nickel-Titanium Naval Ordnance Laboratory)

superelastisch (pseudoelastisch)  
 Formgedächtnis  
 biomechanische Kompatibilität  
 Biokompatibilität

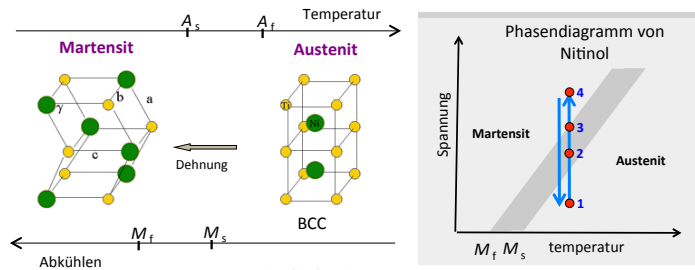


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

34

## Nitinol: Phasen

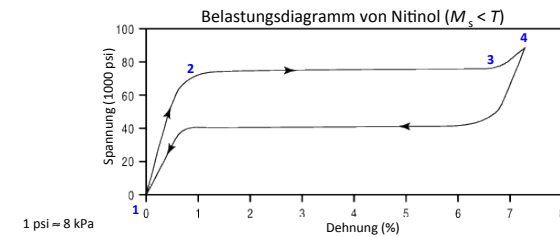


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

35

## Nitinol: Belastungsdiagramm

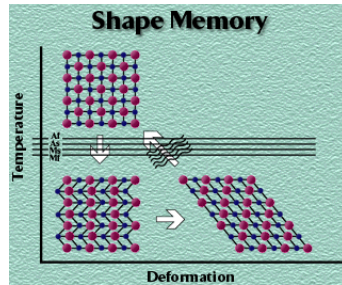


FAFA\_DE

13/b | Biomechanik 3.

36

## Formgedächtnis



- Einweg-
- Zweiweg-

